

# 難削材の切削における工具寿命の改善

○峠 正範\* 嶋崎 喜代治\* 東郷 広一\*

\*第一技術室 機器開発・試作班

## 1. 緒言

先端科学技術育成センター(CIRCLE; Center for Innovative Research and Creative Leading Education)は、創成教育部門、精密工作部門、起業化育成部門の3部門から構成されており、精密工作部門(Machining Technology)は、ものづくりを通じた創造力育成をハード面からサポートする部門である。精密工作部門の特徴のひとつとして、多数のNC工作機を現有していることが挙げられ、それらの活用を通じてものづくり技術支援(実験装置などの製作)を行っている。技術支援の対象である本学の研究分野は、材料設計、構造設計、表面設計など広範囲であり実験装置は多種多様で、かつ斬新なものが多い。近年、理工学実験装置の製作依頼が多く、その中で使用する部品は耐熱性や高温強度に優れた材料が必要とされる。これらの材料の中には難切削材料(難削材)が多々含まれており、寸法精度および外観品質を満足するには難削材個々の特性を理解し適切な加工条件を選定することが重要である。本報告では、製作依頼時に材質指定の多い難切削材料(SUS304)を精密工作部門現有のNC工作機械で加工した事例と難削材加工に対して得た知見を報告する。

## 2. 実験方法および供試材料

### 2.1 NC 工作機械

図1に本研修にて使用したNC工作機械(MAZAK製 INTEGREX 100-HIs)の外観写真を示す。複合加工機であり、B軸付きATC刃物台と第2主軸へのワーク受け渡しによりワンチャッキング全加工が可能である。図2にNC工作機械内部の写真を示す。主軸(最大回転数6000 rpm)に被切削物(SUS304)を固定し回転させ、上刃物台に取り付けられた切削工具を当てて切削を行う。上刃物台の移動軸は、主軸に対して垂直方向のX軸(ストローク410 mm, 位置決め精度0.001 mm)および水平方向のZ軸(ストローク805 mm, 位置決め精度0.001 mm)である。図3に工作機械の加工パラメータの概略を示す。切削工具のX軸方向移動量を切込量: $A_p$ , Z軸方向移動速度を送り速度: $V_c$ , 被切削物の外周部における相対速度を周速: $f$ とした。

### 2.2 切削工具

図4に、SUS304の加工に用いた刃先交換式の旋削工具および旋削チップ(スローアウェイチップ: Indexable tool)を示す。旋削チップはホルダに固定され、①交換することによる加工寸法の変化を最小限に抑えられる、②刃先研磨のスキル差による切削条件の変化を抑えられる、③様々なス

ローアウェイチップの材質、プレーカ、コーティングを一つのホルダでトライできるという特徴を備えている。表1に本研修で用いた旋削チップの材種特性を示す。TIP-CVD は、超硬の母材に CVD 法（化学蒸着法）により薄膜（ $\text{TiCN}+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiN}$ ）をコーティングしたものであり、ステンレス鋼の連続加工に用いられる。TIP-PVD は、超硬の母材に PVD 法（物理蒸着法）により薄膜（ $\text{TiAlN}$ ）をコーティングしたものである。一般に CVD 法（化学蒸着法）に比べ処理温度が低いため、コーティングによる劣化層が少なく抗折力が低下しない等の特長があり、ステンレス鋼の仕上加工～軽断続加工に用いられる。



図1 INTEGREX 100-IIIs

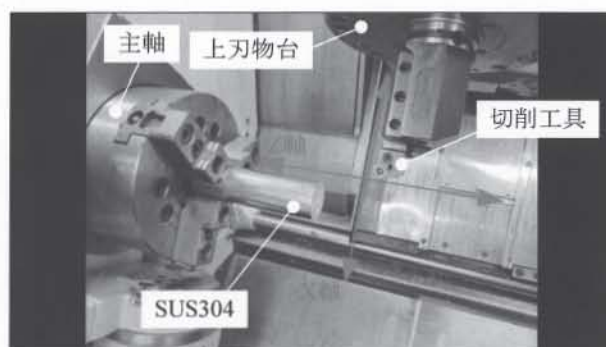


図2 INTEGREX 100-IIIs内部

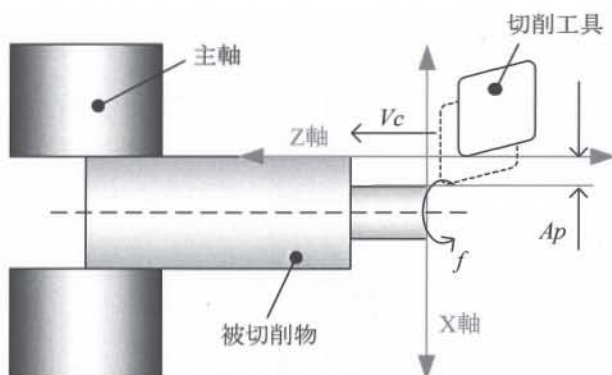


図3 加工パラメータ

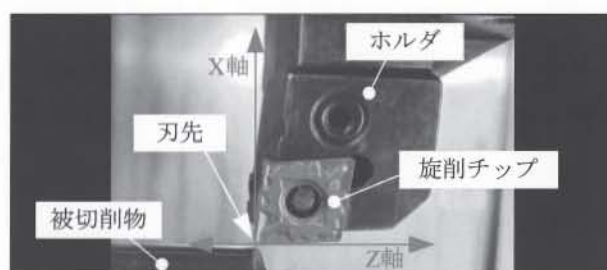


図4 切削工具

表1 旋削チップの材種特性

材種記号	被膜構成	母材硬度(HV)	破壊靱性(MPam <sup>1/2</sup> )	抗折強度(MPa)
TIP-CVD	$\text{TiCN}+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiN}$	1530	12.0	2780
TIP-PVD	TiAlN	1600	13.0	3400

### 2.3 難削材（SUS304）

SUS304 は 18%の Cr と 8%の Ni を含むオーステナイト系ステンレス鋼である。表面に酸化被膜が形成されており、安定して変化しない状態を保つ性質を持つことから、食品設備、一般化学設備、原子力設備など広く使用されている材料である。外形  $\phi 35 \text{ mm}$ 、冷間引抜（ダイスを通して冷間引抜加工したもの）である。図5に、材料表面のZ軸方向における断面プロファイルを示す。断面プロファイルは、2次元触針式粗さ計により測定した。十点平均粗さ  $R_z = 1.1 \mu\text{m}$ 、中心線平均粗さ  $R_a = 0.13 \mu\text{m}$  であった。

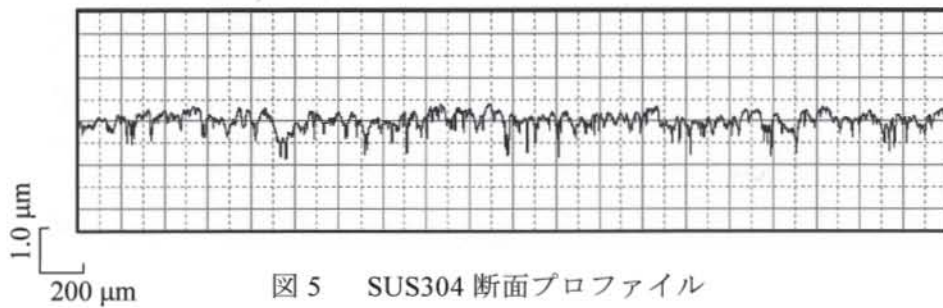


図5 SUS304 断面プロファイル

### 3. 実験結果

#### 3.1 加工面粗さ

実験結果の評価は、2次元触針式粗さ計により、加工面をZ軸方向に触針を走査して $Ra$ の測定を行った。

図6に旋削チップTIP-CVDを用いたときの $Vc$ と $f$ と $Ra$ の関係を示す。 $Vc=0.005$  m/rev,  $Ap=0.005$  mm,  $f=340$  m/minで加工を行ったとき、加工面の $Ra=0.11$  μmとなり、製図記号(▽▽▽▽)を満足した。

$Vc=0.15$  m/rev以下,  $f=340$  m/s以下の領域では、 $Ra=1.6$  μm以下となり、製図記号(▽▽▽)を満足した。このとき、 $Ap=0.15$  mm以下であった。

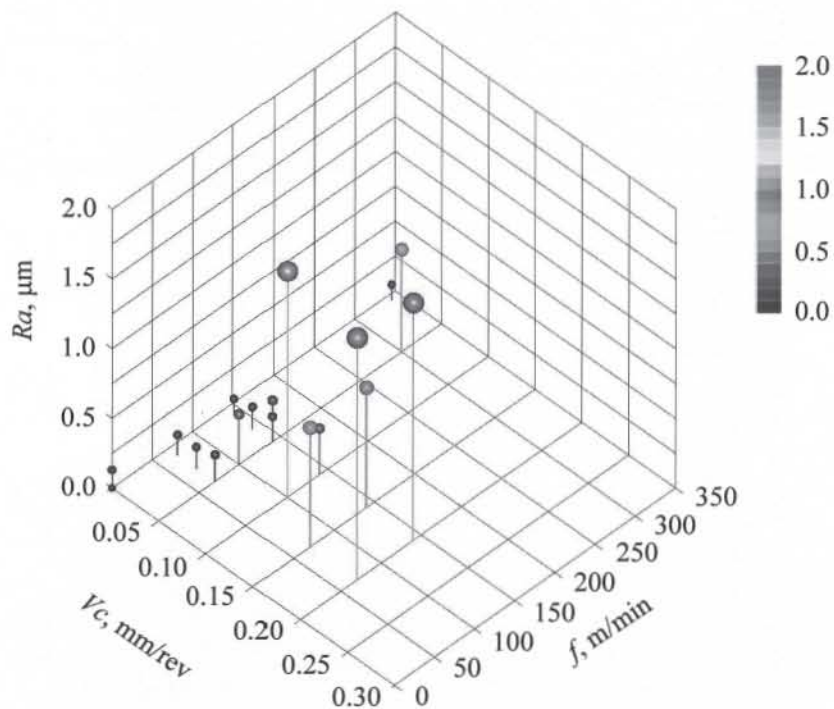


図6 送り速度と周速と平均粗さの関係 (TIP-CVD)

#### 3.2 工具寿命

工具の損傷の形態は大別すると摩耗型および欠損型に分けられる。欠損型の損傷は、工具の一部が欠けて消失する現象で工具の脆性破壊や塑性変型によって発生し、初期チッピングや刃先の欠落などがあげられるが突発的でほとんど予測できない。摩耗型の損傷は、工具表面が切屑や被削物との摩擦により擦り減る現象でその形態は工具の材質により様ではないが、損傷の程度をすくい面にできるクレータの深さおよび、逃げ面に発生する逃げ面摩耗の幅の大きさにより判定できる。そこで、旋削チップのコーティング材種の違いによる耐磨耗性を調べるために、TIP-CVDおよびTIP-PVD



の切削距離  $L=600$  m における刃先を観察した。図 7 に TIP-CVD, 図 8 に TIP-PVD の  $f=$  None, 200, 400, 500 m/min における工学顕微鏡写真を示す。  $V_c=0.6$  mm/rev,  $Ap=0.005$  mm とした。 TIP-CVD では、周速の上昇に伴い摩耗型の損傷が顕著となり、  $f=400$  m/min 以上においては多数のチッピングも観察された。 TIP-PVD では、  $f=400$  m/min 以下においては摩耗型の損傷がほとんどみられず、  $f=500$  m/min において突発的な刃先の欠落がみられた。加工時間の短縮は、  $f$  の高速化で可能となるが、チップの摩耗が顕著となる。以上の結果より、TIP-CVD では  $f=200$  m/min 以下、TIP-PVD では  $f=400$  m/min 以下とすることによりチッピングを抑えられることがわかった。

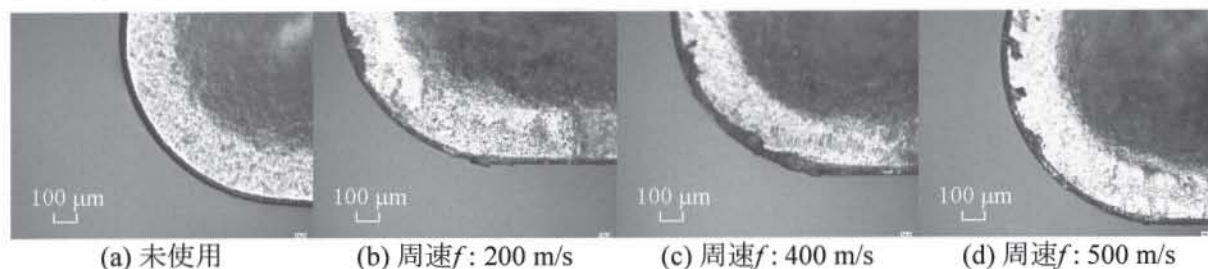


図7 旋削チップ刃先 (TIP-CVD)

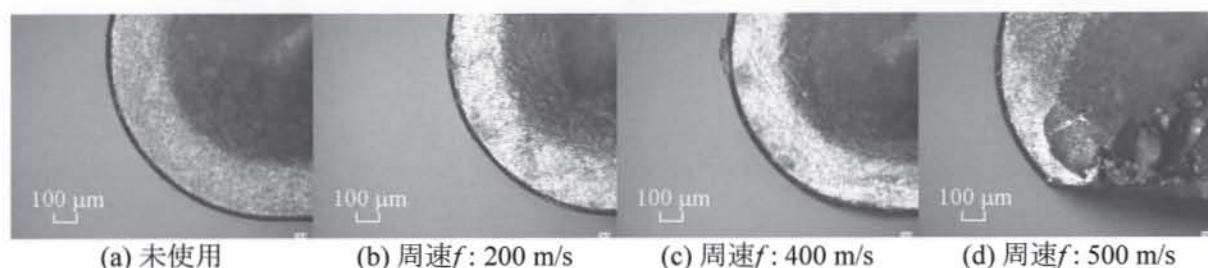


図8 旋削チップ刃先 (TIP-PVD)

#### 4. 結言

本研修では、製作依頼時に材質指定の多い難切削材料 (SUS304) を精密工作部門現有の NC 工作機械で加工し、加工条件と加工面粗さおよび工具摩耗の関係の知見を得た。

- (1) TIP-CVD において、送り速度  $V_c$  を 0.005 mm/rev, 切込量  $Ap$  を 0.005 mm, 周速  $f$  を 340 m/min とすることにより、加工面の中心線平均粗さ  $Ra$  を  $0.11 \mu\text{m}$  (製図記号:  $\nabla\nabla\nabla\nabla$ ) に加工できた。
- (2) TIP-CVD において、送り速度  $V_c$  を 0.05 mm/rev 以下, 切込量  $Ap$  を 0.15 mm 以下, 周速  $f$  を 200 m/min 以下とすることにより、工具摩耗を抑え、中心線平均粗さ  $Ra$  を  $1.6 \mu\text{m}$  以下 (製図記号:  $\nabla\nabla\nabla$ ) で加工可能とわかった。
- (3) TIP-CVD では  $f=200$  m/min 以下, TIP-PVD では  $f=400$  m/min 以下とすることによりチッピングを抑えられることがわかった。

難削材の切削を極めるには全ての最良の切削条件を選択し加工を行うことが重要であるが、NC 工作機械の剛性等により選択できない条件 (周速および切込) がある。今後、超微細加工や他の高温材料等の難削材やセラミックスを加工するには、剛性の高い NC 旋盤が必要になってくるが、現時点でそれはかなわないので、クーラントや他の工作方法 (研磨等) も含めていろいろな方向から難削材を加工する方法を検討していきたい。

#### 謝辞

本研修にあたり、岐阜大学工学部の新川真人助教と当時福井大学大学院工学研究科の千徳英介研究員に有益なご討論ご助言を戴いた。ここに感謝の意を表する。